

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK MENGGUNAKAN METODE
TRANSESTERIFIKASI BERKATALIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)**



PUBLIKASI ILMIAH

**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik**

Oleh:

AMANAH RAHAYU LISTYANINGSIH

D500130004

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK MENGGUNAKAN
METODE TRANSESTERIFIKASI BERKATALIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

Amanah Rahayu Listyaningsih

D 500 130 004

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D

NIDN. 601106801

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK MENGGUNAKAN
METODE TRANSESTERIFIKASI BERKATALIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)**

Oleh :

Amanah Rahayu Listyaningsih

D 500 130 004

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji




Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada Hari Jum'at, 26 Juli 2017

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D.
(Ketua Dewan Penguji)  (.....)
2. Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D.
(Anggota I Dewan Penguji)  (.....)
3. Kun Harismah, M.Si., Ph.D.
(Anggota II Dewan Penguji)  (.....)

Dekan,



Ir. H. Sri Sumaryono, M.T., Ph.D.
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan.

Surakarta, 30 Juli 2018

Yang menyatakan



Amanah Rahayu Listyaningsih

D500130004

PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK MENGGUNAKAN METODE TRANSESTERIFIKASI BERKATALIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)

Abstrak

Kebutuhan bahan bakar minyak yang berasal dari fosil saat ini masih menjadi sumber energi utama dunia. Kebutuhan energi manusia yang semakin bertambah sedangkan bahan bakar fosil tidak dapat diperbarui. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari minyak tumbuhan, lemak hewan, dan minyak bekas. Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L.*) berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar biodiesel karena minyak jarak termasuk dalam minyak non-pangan sehingga tidak mengganggu ketahanan pangan, kandungan minyak pada minyak jarak cukup besar yaitu 50-60%. Metode transesterifikasi dipilih karena prosesnya yang cukup sederhana yaitu dengan mengonversi trigliserida menjadi alkil ester melalui reaksi dengan alkohol dan gliserol sebagai produk sampingnya. Dalam proses transesterifikasi umumnya dilakukan dengan penambahan katalis. Abu terbang (*fly ash*) berpotensi untuk digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel karena tersusun dari beberapa oksida berpori, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , dan CaO . Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efek lama waktu impregnasi katalis (1 jam, 6 jam, 12 jam, 18 jam, 24 jam, dan 48 jam) terhadap kinerja katalis pada pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Penerapan metode transesterifikasi dengan variabel kontrol waktu reaksi 90 menit, 6% berat katalis, dan temperatur 60°C . Dihasilkan biodiesel dengan densitas $0,809 - 0,793 \text{ g/cm}^3$ dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) pada *range* $0,85 - 0,90 \text{ g/cm}^3$ dan *yield* 11,07% pada variasi lama waktu impregnasi 18 jam. Kemudian dilakukan analisis terhadap katalis *fly ash* menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

Kata kunci: biosiesel, minyak jarak, transesterifikasi, abu terbang

Abstract

The need for fossil fuels from fossils is still a major source of energy in the world. Human energy needs are increasing while fossil fuels cannot be renewed. Biodiesel is an alternative fuel derived from plant oils, animal fats, and used oil. Castor oil (*Jatropha Curcas L.*) has the potential to be processed into biodiesel fuel because castor oil is included in non-edible oils so that it does not interfere with food security, the oil content of castor oil is large at 50-60%. The transesterification method was chosen because the process is simple by converting triglycerides to alkyl esters by reaction with alcohol and glycerol as by-products. In the transesterification process, it is generally carried out by adding catalysts. Fly ash has the potential to be used as a catalyst in the manufacture of biodiesel because it is composed of several porous oxides, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , and CaO . This study aims to examine the effect of catalyst implantation time (1 hour, 6 hours, 12 hours, 18 hours, 24 hours, and 48 hours) on the performance of catalysts in the manufacture of biodiesel from castor oil. The application of the transesterification method with 90 minutes reaction time control variable, 6% catalyst weight, and temperature 60°C . Biodiesel produced with a density of $0.809 - 0.793 \text{ g/cm}^3$ with the Indonesian National Standard (SNI) in the range of $0.85 - 0.90 \text{ g/cm}^3$ and a yield of 11.07% for a variation of 18 hours impregnation time. Then an analysis of fly ash catalysts was carried out using *X-Ray Diffraction* (XRD) method.

Key word : biodiesel, castrol oil, transesterification, fly ash

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak yang berasal dari fosil saat ini masih menjadi sumber energi utama dunia. Kebutuhan energi manusia yang semakin lama semakin bertambah besar mulai dari kebutuhan energi kehidupan rumah tangga, transportasi, hingga lingkungan industri masih menggantungkan sumber energinya pada bahan bakar fosil. Sedangkan bahan bakar fosil tidak dapat diperbarui, sehingga dapat memicu efek domino yang mampu mempengaruhi diberbagai sektor kehidupan karena produksi bahan bakar fosil mulai menurun akibat cadangan yang mulai menipis (Wiyarno, 2009).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari minyak tumbuhan, lemak hewan, dan minyak bekas melalui esterifikasi dengan alkohol (Dharsono dan Oktari, 2010). Biodiesel memiliki sifat fisis yang hampir sama dengan solar sehingga dapat digunakan untuk menggantikan minyak diesel pada kendaraan (Sari, 2007). Biodiesel memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena biodiesel dapat diperbarui, lebih ramah lingkungan, bebas zat beracun, dan efisiensi *combustion* yang tinggi (Avhad dan Marchetti, 2015). Disamping itu juga dapat mengurangi tingkat pencemaran yang diakibatkan penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan biodiesel dapat mengurangi tingkat pencemaran zat penyebab hujan asam, sulphur dioksida (SO_2) di udara. Penurunan kadar SO_2 terjadi karena bahan bakar biodiesel dari minyak nabati atau lemak hewan tidak mengandung sulphur sebagaimana minyak fosil. Selain itu biodiesel mampu menurunkan emisi partikulat, hidrokarbon tak terbakar dan karbon monoksida (Wiyarno, 2009).

Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L.*) berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar biodiesel karena minyak jarak termasuk dalam minyak non-pangan sehingga tidak mengganggu ketahanan pangan, kandungan minyak pada minyak Jarak cukup besar yaitu 50-60% (Taufiq. dkk, 2014). Pembuatan biodiesel dari minyak jarak dapat dilakukan dengan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkyl ester, melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil, metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (Talebian, kiakalaieh. dkk, 2013)

Dalam pembuatan biodiesel dari minyak jarak dengan proses transesterifikasi ini dapat dilakukan dengan penambahan katalis. Katalis yang digunakan ada katalis heterogen dan katalis homogen (Meloni. dkk, 2016). Hal ini membuka potensi abu terbang (*fly ash*) untuk dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Abu terbang

tersusun atas beberapa oksida berpori (terutama silica) dan *unburned carbon* yang mempunyai potensi digunakan sebagai katalis (Astuti dan Mahatmanti, 2007). Namun abu terbang untuk dapat digunakan sebagai katalis harus diaktifasi terlebih dahulu. Abu terbang dapat digunakan karena didalamnya terkandung SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , dan CaO . Beberapa penelitian telah menggunakannya sebagai katalis, diantaranya adalah perengkahan katalitik *palm fatty acid distillate* menjadi biofuel dengan hasil 57,14% yield biofuel, biodiesel dari *soybean oil* dengan metode transesterifikasi dengan hasil 81,2% yield biodiesel, biodiesel synthesis dari minyak kelapa sawit menggunakan katalis abu terbang dengan hasil 79,76% yield biodiesel dan 97,09% konversi FAME (Pangestu, W. & Zultinair, Y., 2015; Bhandari, R. dkk, 2015; Ho, W.W.S. dkk, 2014).

Berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan, maka dilanjutkan penelitian dengan menggunakan variasi beberapa faktor yang berbeda. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji penggunaan katalis *fly ash* dengan preparasi impregnasi selama 1 – 48 jam larutan KNO_3 dan kalsinasi suhu 300°C untuk digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Yang selanjutnya dilakukan analisis dari katalis yang telah digunakan.

2. METODE

Sebelum *fly ash* digunakan sebagai katalis, perlu dilakukan preparasi terhadap *fly ash* agar kinerjanya sebagai katalis bisa lebih optimal dalam membantu pembentukan reaksi pembuatan biodiesel. Preparasi yang dilakukan ada 2 tahap, yaitu impregnasi dan kalsinasi. Impregnasi yang dilakukan adalah impregnasi basah dengan menambahkan larutan KNO_3 sebagai larutan prekursor. Dengan dilakukannya impregnasi akan memberikan anion dan kation yang dipertukarkan ke dalam katalis *fly ash* oleh adsorpsi dari larutan KNO_3 . Impregnasi dilakukan dengan variasi waktu selama 1 jam, 6 jam, 12 jam, 24 jam, dan 48 jam. Kemudian hasil dari impregnasi dilakukan penguapan larutan KNO_3 yang berlebih dengan menggunakan *rotary evaporator*. Selanjutnya dilakukan kalsinasi dengan suhu 300°C setiap sampelnya. Kalsinasi dilakukan untuk memperkuat larutan prekursor yang telah teradsorpsi ke dalam katalis.

Selanjutnya proses reaksi transesterifikasi untuk membuat biodiesel dari minyak yang disiapkan dengan menggunakan katalis yang telah dipreparasi sebelumnya. Metode yang digunakan adalah transesterifikasi dengan menggunakan metanol sebagai larutan tambahan untuk pembentukan metil ester. Metanol yang digunakan mengikuti perbandingan minyak dan metanol 1 : 6. Kemudian katalis yang digunakan sebanyak 6% dari berat minyak yang digunakan. Metanol dan katalis dicampurkan pada gelas beker diaduk menggunakan stirer selama 10 menit dan minyak dimasukkan ke dalam gelas beker yang berbeda dan dipanaskan

hingga suhu 60°C. Setelah suhu mencapai 60°C campuran metanol dan katalis ditambahkan. Transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat labu leher tiga, kondensor dan pemanas berstirer. Reaksi dilakukan selama 90 menit dengan suhu 60°C. Setelahnya dilakukan tahap filtrasi dengan menggunakan erlenmayer vacuum supaya memisahkan larutan hasil transesterifikasi dengan padatan katalis kemudian larutan dimasukkan kedalam corong pemisah dan didiamkan hingga larutan membentuk 2 lapisan. Lapisan atas yang bening merupakan metil ester yang terbentuk, sedangkan lapisan bawah merupakan gliserol.

Setelah didapatkan biodiesel, kemudian dilakukan analisis densitasnya dengan menggunakan piknometer. Perhitungan densitas dilakukan dengan pembandingan dari aquadest. Untuk katalis *fly ash*-nya dianalisis dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) di laboratorium MIPA Universitas Negeri Yogyakarta. Hasil XRD kemudian dianalisis kembali dengan menggunakan aplikasi Match 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku minyak jarak yang digunakan untuk pembuatan biodiesel sebelumnya telah diuji dengan menggunakan metode *Gas Chromatography* (GC). Hasil dari uji tersebut menunjukkan minyak jarak mengandung 12,76 % metil ester dan 87,24% *Octadecadienoyl Chloride*. Dengan uji kandungan tersebut maka minyak jarak dapat diproses menjadi biodiesel. Berdasarkan penelitian pembuatan biodiesel dari minyak jarak dengan transesterifikasi berkatalis abu terbang yang telah dilakukan didapatkan hasil seperti pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Hasil penelitian pembuatan biodiesel

Waktu impregnasi (jam)	Berat biodiesel (gram)	volume biodiesel (mL)
1	9,307	12
6	8,176	10
12	8,34	9,6
18	11,07	13,8
24	7,494	10
48	6,572	8,2

Dari hasil penelitian tersebut dilakukan analisis perhitungan %yield dari biodiesel yang dilakukan. % yield yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. %yield biodiesel yang dihasilkan

Waktu impregnasi (jam)	Massa minyak jarak (gram)	% yield biodiesel
1	100	9,307
6	100	8,176
12	100	8,34
18	100	11,07
24	100	7,494
48	100	6,572

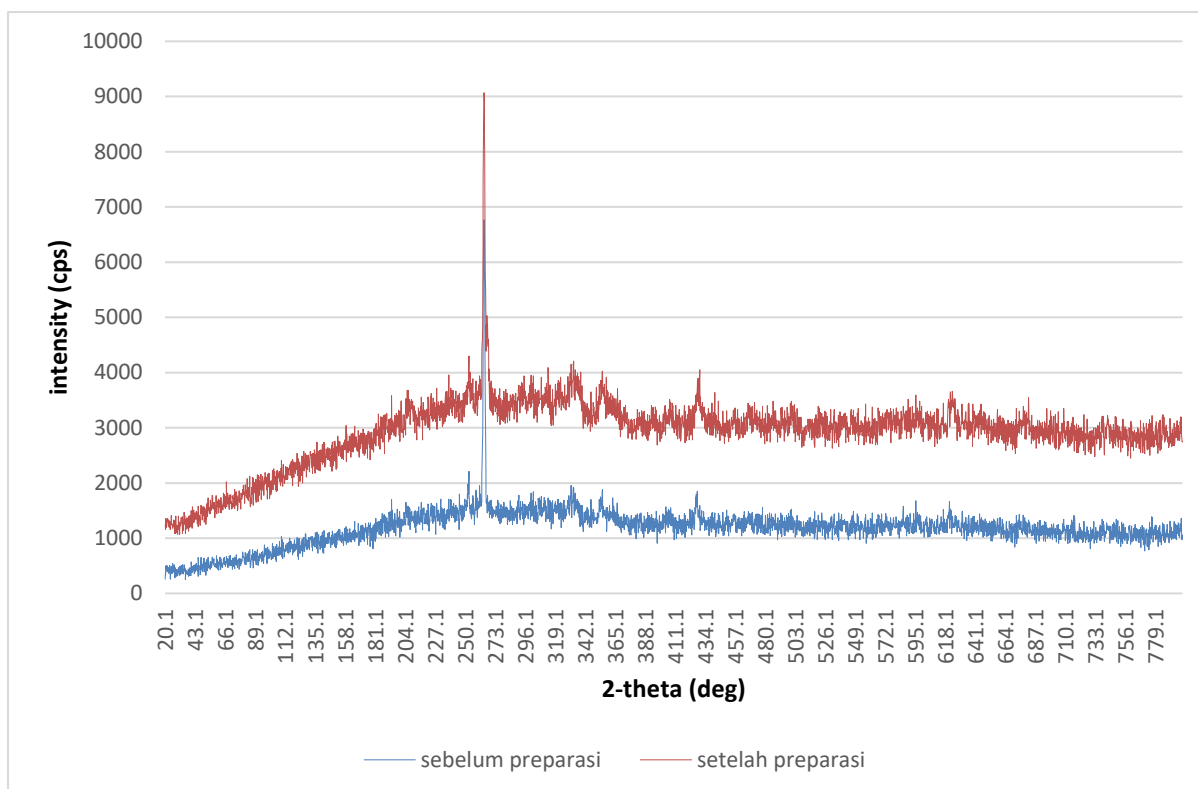
Dari analisis perhitungan %yield yang dilakukan menunjukkan hasil %yield yang diperoleh tidak terlalu besar. Jika dibandingkan dengan beberapa penelitian lain yang telah dilakukan diantaranya : Pangestu dan Zultiniar pada 2015 telah melakukan penelitian menggunakan bahan baku minyak kedelai dengan metode transesterifikasi dengan bantuan katalis abu terbang menghasilkan 81,2% yield biodiesel pada kondisi operasi suhu reaksi 65°C dan waktu reaksi 12 jam. Bhandari, R. dkk. Pada 2015 telah melakukan penelitian menggunakan bahan baku minyak kelapa sawit menggunakan metode perengkahan dengan bantuan katalis abu terbang menghasilkan 76,76 % yield pada kondisi operasi suhu reaksi 450°C dan waktu reaksi 2 jam. Hasil pembuatan biodiesel dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu kondisi operasi suhu dan lama waktu transesterifikasi. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat adanya perbedaan suhu yang lebih tinggi dan waktu reaksi yang lebih lama memberikan hasil yield yang cenderung lebih besar. Selain itu dilakukan analisa perhitungan densitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil uji densitas biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil uji densitas biodiesel

Waktu impregnasi (jam)	Berat biodiesel (gram)	Densitas Biodiesel (g/ cm ³)
1	9,307	0,809
6	8,176	0,821
12	8,34	0,825
18	11,07	0,826
24	7,494	0,793
48	6,572	0,795

Dari analisis perhitungan densitas biodiesel yang dihasilkan masih beradadibawah Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI 7182:2012 menyebutkan bahwa densitas biodiesel berada pada $0,85 - 0,90 \text{ g/cm}^3$. Oleh karena itu biodiesel yang dihasilkan belum dapat digunakan karena belum memenuhi SNI.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi % yield biodiesel yang dihasilkan adalah katalis abu terbang. Oleh karena itu dilakukan pengujian terhadap katalis abu terbang bahwa katalis telah berhasil diaktivasi selama preparasi. Hasil uji XRD abu terbang sebelum dan sesudah dipreparasi dapat dilihat dari Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Hasil uji XRD abu terbang sebelum dan sesudah dipreparasi

Dari uji XRD terhadap katalis abu terbang (*fly ash*) yang telah dilakukan didapatkan hasil yang menyatakan bahwa terdeteksi kristal yang terbentuk di dalam katalis. Hal ini dapat dilihat dari bentuk puncak (*peak*) baru pada hasil uji katalis abu terbang (*fly ash*) setelah preparasi dibandingkan dengan yang belum dipreparasi. Hal tersebut menunjukkan peningkatan intensitas dari komponen abu terbang (*fly ash*) setelah dipreparasi. Kemudian hasil uji XRD katalis dari laboratorium dianalisis menggunakan aplikasi Match 3. Preparasi dengan metode impregnasi larutan KNO_3 selama 18 jam dan kalsinasi pada suhu 300°C memberika efek terbentuknya kristal. Data kristal yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 4 berikut dan Tabel 5.

Tabel 4. Data kristal yang terbentuk setelah preparasi abu terbang

Parameter	Nilai
Nama material	Quartz
Nama formula	SiO ₂
Bentuk kristal	Trigonal (Hexagonal axes)
Densitas (gram/cm ³)	2,56700
Sudut 2 θ pada <i>peak</i> tertinggi	26,32
Sudut θ pada <i>peak</i> tertinggi	13,16
Intensitas	1000
FWHM(°C)	0,1600
λ (Å)	4,9628

Dari data tersebut dapat dihitung ukuran kristal setelah abu terbang dipreparasi dengan menggunakan *Scherrer's Formula* , sehingga diperoleh ukuran kristal abu terbang setelah dipreparasi sebesar 33,67742 Å.

Tabel 5. Data kristal sebelum preparasi abu terbang

Parameter	Nilai
Nama material	Quartz
Nama formula	SiO ₂
Bentuk kristal	Trigonal (Hexagonal axes)
Densitas (gram/cm ³)	2,56700
Sudut 2 θ pada <i>peak</i> tertinggi	26,54
Sudut θ pada <i>peak</i> tertinggi	13,27
Intensitas	1000
FWHM(°C)	0,200
λ (Å)	4,92900

Dari data tersebut dapat dihitung ukuran kristal sebelum abu terbang dipreparasi dengan menggunakan *Scherrer's Formula*, sehingga diperoleh ukuran kristal abu terbang sebelum dipreparasi sebesar 29,08922 Å.

4. PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa minyak jarak dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Abu terbang dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi. Dibuktikan dengan terbentuknya kristal SiO₂ dalam uji XRD setelah dipreparasi dengan lama waktu

18 jam dan suhu kalsinasi 300°C. Lama waktu impreknasi abu terbang mempengaruhi hasil % yield biodiesel yang dihasilkan. Berdasarkan variasi lama waktu impreknasi 1 jam, 6 jam, 12 jam, 18 jam, 24 jam, dan 48 jam menghasilkan % yield berturut-turut sebesar 9,307%, 8,176%, 8,34%, 11,07%, 7,494%, dan 6,672%.

Dalam penelitian ini tentunya masih banyak terdapat kesalahan baik itu dari peneliti maupun hasil yang dicapai. Sehingga berikut saran yang dapat diberikan: mengkaji lebih lanjut kondisi operasi saat reaksi transesterifikasi sehingga diperoleh kondisi operasi yang tepat supaya mendapatkan % yield yang tinggi. Melakukan uji komposisi pada biodiesel yang dihasilkan dan uji sifat-sifat fisikokimia lainnya agar diperoleh biodiesel yang sesuai dengan SNI dan menggunakan bahan baku minyak yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W. & Mahatmanti, W., 2007. Aktivasi abu layang batubara dan aplikasinya sebagai adsorben timbal dalam pengolahan limbah elektroplating. , pp.112–118.
- Avhad, M.R. & Marchetti, J.M., 2015. A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, pp.696–718. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115004979> [Accessed June 18, 2015].
- Bhandari, R., Volli, V. dan Purkait, M.K. 2015. Preparation and characterization of fly ash based mesoporous catalyst for transesterification of soybean oil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 3(2). 906–914.
- Buchori, L. & Budiyo, 2003. Aktivasi Zeolit dengan Menggunakan Perlakuan Asam dan Kalsinasi. , 2003(September), pp.16–17.
- Dharsono, W. & Oktari, Y.S., 2010. Proses Pembuatan Biodisel Dari Dedak dan Metanol Dengan Esterifikasi In Situ.
- Ho, W.W.S., Ng, H.K., Gan, S. dan Tan, H. 2014. Evaluation of palm oil mill fly ash supported calcium oxide as a heterogeneous base catalyst in biodiesel synthesis from crude palm oil. *Energy Conversion and Management*. 1-12.
- Meloni, D. et al., 2016. Applied Catalysis B : Environmental Transesterification of Jatropha curcas oil and soybean oil on Al-SBA-15 catalysts. “*Applied Catalysis B, Environmental*”, 184, pp.163–173. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.11.038>.

- Nizah, M.F.R. et al., 2014. Production of biodiesel from non-edible *Jatropha curcas* oil via transesterification using Bi₂O₃ – La₂O₃ catalyst. *Energy Conversion And Management*, pp.3–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.072>.
- Pangestu, W., Yelmida dan Zultiniar. 2015. Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan Fly Ash Sawit. *Jom F.Teknik*. 2 (1). 1-5.
- Sari, A.B.T., 2007. Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Dengan Transesterifikasi Satu Dan Dua Tahap.
- Talebian-kiakalaieh, A. et al., 2013. A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. *Applied Energy*, 104, pp.683–710. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.061>.
- Taufiq-yap, Y.H. et al., 2014. Transesterification of *Jatropha curcas* crude oil to biodiesel on calcium lanthanum mixed oxide catalyst : Effect of stoichiometric composition. *Energy Conversion And Management*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.12.075>.
- Wiyarno, B., 2009. *Bahan Bakar Alternatif Generasi Ketiga Biodisel Mikroalgae*, Kuala Lumpur: IndoAlgaTech.Consultan.